Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. Ludolph Fischer

Der Einfluß der Feuchtigkeit auf die Körpertemperatur im Behaglichkeitsbereich

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Wolfgang Müller
aus Stuttgart

1965

8432

Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. Ludolph Fischer

Der Einfluß der Feuchtigkeit auf die Körpertemperatur im Behaglichkeitsbereich

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Wolfgang Müller
aus Stuttgart

1965

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN -

Dekan: Professor Dr. W. Schulte

1. Berichterstatter: Dozent Dr. W. Höfler
2. Berichterstatter: Professor Dr. L. Fischer

Fotodruck PRÄZIS · Tübingen

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis
==========

Kapitel:	Seite
A) Einleitung:	
Der Luftzustand als Komplexgrösse.	5
B) Fragestellung.	9
C) Methodik.	10
1.) Versuchspersonen	10
2.) Versuchsanordnung:	10
a) Klimakammer	10
b) Sonstige für Klimakammerversuche benötigten Geräte	12
c) Die Versuchsperson im Versuch	13
d) Versuchsprogramm	14
e) Auswertung	17
D) Ergebnisse.	18
1.) Beschreibung von 4 typischen Kurvenverläufen der Vp H. (mit Abbildungen 1.)	18
2.) Zusammenstellung der Endwerte von Rektaltemperatur (RT), Zehentemperatur (Z), Fusstemperatur (F), Daumentemperatur (D), Handtemperatur (H), integraler Hauttemperatur (JT) von allen 3 Versuchspersonen als Abbildungen. (mit Abbildungen 2.)	22

Seite

3.) Tabellarische Zusammenstellung der Ergebnisse von Versuchen der Vpp N., K. und Vp H. 24

4.) Tabellarische Zusammenstellung der Ergebnisse zu Versuchsbeginn der Vp H. 29

5.) Dreidimensionale Abbildung der Endwerte aller Handtemperaturkurvenverläufe der 3 Versuchspersonen. (mit Abbildung 3.) 33

E) Diskussion der Ergebnisse. 33

1.) Hauttemperatur und Luftfeuchtigkeit 33

2.) Integrale Hauttemperatur und Frigorigraphentemperatur bei verschiedener Luftfeuchtigkeit 38

F) Zusammenfassung. 40

G) Literatur. 42

Tabellen:

a: Übersicht über die Versuchsanzahl der einzelnen Versuchsbedingungen mit den zugehörigen Vpp. 15

b: Mittlere Endwerte der Vpp N., K. 25

c_1: Mittlere Endwerte der Vp H. (29°C Trockent.) 26

c_2: Mittlere Endwerte der Vp H. (27°C Trockent.) 27

c_3: Mittlere Endwerte der Vp H. (25°C Trockent.) 28

d_1: Mittlere Anfangswerte der Vp H. (29°C Tr.-t) 30

d_2: Mittlere Anfangswerte der Vp H. (27°C Tr.-t) 31

d_3: Mittlere Anfangswerte der Vp H. (25°C Tr.-t) 32

A) Einleitung: Der Luftzustand als Komplexgrösse.

Für die thermische Wirkung eines bestimmten Klimazustandes sind bekanntlich neben der Lufttemperatur auch die Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Strahlungstemperatur der Umgebung verantwortlich. Vorliegende Arbeit beschäftigt sich hauptsächlich mit dem Einfluss der Luftfeuchtigkeit. Im Bereich hoher Lufttemperaturen ist die Bedeutung dieser Grösse für die Klimaempfindung und für die Leistungsfähigkeit bekannt (E.A.Müller und H.G.Wenzel 1961, W.Höfler 1963). Aber auch im Bereich niedriger Lufttemperaturen hat sie Berücksichtigung gefunden, z.B. in der sogenannten "Effektivtemperatur", wie sie 1924 - 1927 das erste Mal von Yaglou ausgearbeitet wurde (W.Höfler 1963). Man kann daraus den Schluss ziehen, dass die Luftfeuchtigkeit auch in diesem Temperaturbereich wenigstens für die T e m p e r a t u r e m p f i n d u n g eine Rolle spielt. Es ist aber naheliegend anzunehmen, dass ein Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf den Organismus sich auch an der Perspiration auswirkt. Winslow, Herrington und Gagge (1937) fanden an ihrem Versuchsmaterial keine systematische Abhängigkeit der Perspiration von der Luftfeuchtigkeit. Jedoch haben Thauer und Mitarbeiter in mehreren Arbeiten nachgewiesen, dass eine solche Abhängigkeit der Perspiratio insensibilis von der Luftfeuchtigkeit auch im indifferenten Temperaturbereich (26 - 31° C Umgebungstemperatur) besteht.

> Der indifferente Temperatur- oder Behaglichkeitsbereich erstreckt sich etwa - individuell sind starke Schwankungen vorhanden - von 26 bis 31° C Trockentemperatur der umgebenden Luft beim unbekleideten, liegenden

Menschen. Es ist der Bereich der trockenen, rein vasomotorischen Wärmeregulation. Die obere Temperaturgrenze dieses Bereiches wird bestimmt durch das erste Auftreten einer aktiven Schweissekretion. Recht genau ist diese obere Grenze von T.H.Benzinger (1961) charakterisiert worden: Sie entspricht einer Hypothalamustemperatur von 36,9° C * (wird am Trommelfell gemessen), was ungefähr bei einer integralen Hauttemperatur (JT) von 34° C erreicht wird. Nach unten hin ist der Indifferenzbereich begrenzt durch das Auftreten einer aktiven Stoffwechselsteigerung, sichtbar durch beginnendes Muskelzittern.

Bei den Versuchen von Thauer und Zöllner wurde festgestellt, dass die Perspiratio insensibilis bei steigender Luftfeuchtigkeit abnimmt. In einer späteren Arbeit von Lütcke, Klussmann und Kaufmann (1958) wurde durch Experimente an Hunden gefunden, dass die Hautwasserabgabe im Indifferenzbereich sehr wahrscheinlich auf dem Diffusionswege erfolgt. Dies steht im Gegensatz zu den Veröffentlichungen von Büttner (1953), der das Vorliegen einer negativen Perspiratio insensibilis postuliert. Ausserdem fanden Lütcke, Klussmann und Kaufmann, dass die Hautwasserabgabe proportional der Differenz zwischen

---

*Es erscheint aber fraglich, ob sich eine solche Grenze nur an der Kerntemperatur festlegen lässt (W.Höfler, unveröffentlichte Versuche 1964).

Wasserdampfdruck der umgebenden Luft und Sättigungswasserdampfdruck bei Hauttemperatur ist. Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Menschen wird angenommen.

Neben der Abhängigkeit der Perspiratio insensibilis von der Luftfeuchte enthalten die Arbeiten von Thauer und Mitarbeitern auch einige wenige Angaben über Rektaltemperatur (RT) und integrale Hauttemperatur (JT), die von Thauer auch in späteren Arbeiten (1955 und 1958) angeführt wurden. RT und JT waren bei gleicher Umgebungstemperatur umso höher, je höher die Luftfeuchtigkeit war. Der von Thauer und Mitarbeitern untersuchte Bereich erstreckte sich über 3 - 39 mm Hg Wasserdampfdruck bei Lufttemperaturen zwischen 25 und 35° C.

Der Frigorigraph nach Pfleiderer:

Zur Abschätzung der thermischen Wirkung eines bestimmten Luftzustandes wurden verschiedene "Summenwertgeräte" konstruiert, mit deren Hilfe die komplexe Grösse "Klima" in einem Wert zusammengefasst werden soll. Eines der bekanntesten Geräte dieser Art ist der Frigorigraph nach Pfleiderer.

Der Frigorigraph besteht aus einer Kugel, dem sogenannten Probekörper und dem Registriergerät, einem Schreiber, der die Oberflächentemperatur der Kugel in Abständen von 2 Minuten druckt. Der doppelwandige Probekörper hat einen Durchmesser von 15 cm. Unter der äusseren, aus Kupferblech bestehenden Kugelschale liegt das zur Messung der mittleren Oberflächentemperatur benötigte Widerstandsthermometer.

Auf der inneren Kugelschale ist eine Heizwicklung grossflächig angeordnet. Dadurch wird eine gleichmässige Temperaturverteilung über die ganze Oberfläche erreicht. Entsprechend der Wärmestromdichte durch die frei exponierte Körperoberfläche eines auf dem Rücken liegenden, unbekleideten Menschen unter Grundumsatzbedingungen (auf isolierender Unterlage) erfolgt die Beheizung mit 0,16 cal/cm^2 • min . Dies bewirkt eine Übertemperatur des Frigorigraphen von durchschnittlich ca. 11° C gegenüber der umgebenden Lufttemperatur. Diese Übertemperatur wird Abkühlungsgrösse genannt. Sie ist analog der menschlichen JT und nach den Angaben von Pfleiderer und Büttner bei verschiedenen Klimazuständen gut korreliert mit dem Verhalten dieser Grösse in Abhängigkeit vom umgebenden Klima.

Der Frigorigraph nach Pfleiderer stellt ein Klimasummengerät dar, das durch die Klimafaktoren Windgeschwindigkeit, umgebende Lufttemperatur und Wärmestrahlung beeinflusst wird. Der Aussenanstrich der Kugel ist so gewählt, dass im Bereich langwelliger Strahlung eine Absorption von 90%, im Bereich kurzwelliger Strahlung eine solche von 60% eintritt. Die Beeinflussung durch Wärmestrahlung erfolgt deshalb in vergleichbarem Masse wie an der Haut eines durchschnittlichen Mitteleuropäers.

Da dem Frigorigraphen die unter bestimmten Bedingungen die Hauttemperatur bestimmende "Schweissekretion" fehlt, ergibt sich, dass die Korrelation der Frigorigraphentemperatur (FT) zur JT bei Bedingungen, die zur Schweissekretion führen, gestört

ist. Aber selbst im Behaglichkeitsbereich ist die Perspiratio insensibilis sowohl abhängig von der Lufttemperatur, als auch von der Luftfeuchtigkeit (siehe oben). Daher findet sich beim Menschen auch eine Zunahme der JT und der RT mit zunehmender Luftfeuchtigkeit (Thauer und Mitarbeiter). Nun haben diese Autoren jedoch mit sehr grossen Luftfeuchtigkeitsunterschieden gearbeitet (bei ihren Versuchen im Behaglichkeitsbereich von 3 - 30 mm Hg). Ausserdem haben sie nur Angaben über die "Integrale Hauttemperatur (JT)" veröffentlicht. Diese Grösse ist aber nicht unter allen Umständen repräsentativ für die jeweilige Einstellung der physikalischen Temperaturregelung (Aschoff 1958, Koe und Höfler 1963). Hieraus ergibt sich für vorliegende Arbeit folgende Fragestellung:

B) Fragestellung.

1.) Wie verhalten sich im Behaglichkeitsbereich bei konstanter Lufttemperatur die menschlichen Körpertemperaturen (Kerntemperatur, integrale Hauttemperatur und insbesondere die die jeweilige Situation der Wärmeabgabe kennzeichnenden peripheren Extremitätentemperaturen), wenn die Luftfeuchtigkeit um verhältnismässig geringe Beträge nach beiden Seiten der Schwülegrenze (14,1 mm Hg) von Scharlau variiert wird?

2.) Wird die Korrelation zwischen Anzeige des Frigorigraphen und der Hauttemperatur durch die zu erwartende Abhängigkeit der Hauttemperaturen von der Luftfeuchtigkeit in nennenswertem Masse beeinträchtigt?

C) Methodik.

1.) Versuchspersonen:

Es wurde mit 3 männlichen Versuchspersonen (Vpp) gearbeitet.

a) Vp N. : 22 Jahre alt, 172 cm gross, 72 kg schwer.
b) Vp K. : 22 Jahre alt, 182 cm gross, 55 kg schwer.
c) Vp H. : 39 Jahre alt, 186 cm gross, 69 kg schwer.

Die 3 Vpp gehören alle in etwa dem leptosomen Habitus an, was zu einem ungefähren Vergleich der Versuchsergebnisse berechtigt.

2.) Versuchsanordnung:

a) Klimakammer.

Die Versuche wurden in einer Klimakammer der Firma Meissner und Wurst (Stuttgart) unternommen. Die weissgekachelte Kammer hat eine Breite von 2,3 m, eine Länge von 3,6 m und eine Höhe von 2 m. Gegen Störung des Kammerklimas sind sämtliche Wände mit einer 10 cm dicken Isolierplattenschicht von einer Wärmedurchgangszahl von $K = 0{,}5$ cal/$m^2 \cdot {}^{o}C \cdot h$ versehen. Daran schliesst sich eine 12 cm dicke

Ziegelschicht an; ausserdem befindet sich die Kammer innerhalb des Institutsgebäudes, was Störungen durch extremes Aussenklima auf ein Minimum reduziert. Die wesentlichste Störung in dieser Hinsicht entsteht durch die notwendige Frischluftzufuhr. Bei Klimabedingungen im Behaglichkeitsbereich ist die Wandtemperatur 0,5° C unter der Lufttemperatur.

Die Trockentemperatur der Klimakammer wird geregelt über einen Thermostaten, der von einem Minimum-Maximumschalter aus einstellbar ist. Dadurch wird die Kammertemperatur fortwährend geprüft und gegebenenfalls mit der Umwälzungsluft, die auch einen Frischluftanteil enthält und dauernd angesogen und von einem Ventilator wieder ausgestossen wird, erwärmt oder gekühlt.

Der Feuchtzustand in der Klimakammer wird indirekt über die Einstellung der Differenz von Trocken- und Feuchttemperatur geregelt. Die vorgegebene Differenztemperatur stellt man ebenfalls über einen Minimum-Maximumschalter ein. Eine Steigerung der Luftfeuchtigkeit in der Kammer wird durch Versprühen von vorgewärmtem Wasser mittels Sprühdüsen bewirkt. Die Lufttrocknung dagegen erfolgt bei Bedarf durch die Kühlmaschine, die eine Wasserkondensation herbeiführt.

Die Einstellung der Versuchsbedingungen in der Klimakammer erfolgte stets einen Tag vor Beginn des Versuches. Eine Feineinstellung von Trocken- und Feuchttemperatur wurde dann kurz vor Beginn der Messungen vorgenommen, wenn Versuchsperson

und Protokolleur die Kammer betreten hatten. Durch die Wärmebildung und die Perspiration dieser 2 Personen trat nämlich meist noch eine kleine Klimastörung auf.

b) Sonstige für Klimakammerversuche benötigten Geräte:

Zur genauen Kontrolle des in der Kammer herrschenden Klimas diente ein Psychrometer nach Assmann, mit dem man Trocken- und Feuchttemperatur und somit die relative Luftfeuchtigkeit im Raum bestimmen kann. Es war in der Mitte der Kammer von der Decke hängend angebracht. Um eine richtige Messung der Feuchttemperatur zu garantieren, wurde der Feuchtthermometerteil vom Protokolleur während des Versuches alle 10 Minuten mit aqua dest. befeuchtet.

Der Frigorigraph (siehe oben) befand sich an windgeschützter Stelle in der Klimakammer auf einem Tischchen hinter dem zum Frigorigraphen gehörigen Schaltschrank mit Zeigerablesung.

Auf dem Schaltschrank des Frigorigraphen war die Apparatur des während der Versuche verwendeten photoelektrischen Pulszählers nach E.A.Müller angebracht (Fa. Himmelmann; Dortmund).

Davor, auf dem Ablesetischchen des Protokolleurs war das Galvanometer nebst 10-buchsigem Verteiler für die Thermoelemente der verschiedenen Körperregionen aufgestellt. Diese Temperaturmessanlage arbeitet mit einer Genauigkeit von 0,1° C (Fa. Ellab; Kopenhagen).

Eine bequeme Liege mit Kopfstütze nahm die Versuchsperson während des Versuches auf. Die Liege war mit einer Kunststoffschnur von 3 mm Dicke bespannt, um eine Wärmestauung an den aufliegenden Körperflächen der Vp zu verhindern. Um andererseits diese Körperflächen nicht einer erhöhten Ventilation durch die Umwälzanlage der Klimakammerapparatur auszusetzen, war etwa 10 cm unterhalb der Schnurbespannung der Liege eine Abdeckfolie aus Plastik angebracht. Während an Boden, Hinterwand, und Decke der Kammer infolge der Luftumwälzung eine laminare Luftströmung von ca. 0,5 m/sec herrschte, befanden sich die Vp und der Frigorigraph in einer Zone, in der eine gerichtete Luftbewegung nicht nachweisbar war.

c) Die Versuchsperson im Versuch:

Die Vpp befanden sich während der Versuche unter angenäherten Grundumsatzbedingungen: Ein leichtes Fruhstück war etwa 2 Stunden vor Versuchsbeginn verzehrt worden, körperliche Arbeit nur in unwesentlichem Mass geleistet worden (ca. 15 Minuten Anmarsch zum Institut). Während des Versuchs befand sich die Vp in nahezu unbekleidetem Zustand (Badehose).

Während des Versuchs wurde keine Nahrung aufgenommen und nicht geschlafen. Die Vp beschäftigte sich meistens mit Lesen leichter Lektüre, was bisweilen durch kurzdauernde Unterhaltung (maximal 5 Minuten) mit dem Protokolleur unterbrochen wurde.

Temperaturen der Vp wurden während des Versuches in Abständen von 10 Minuten an folgenden Stellen ge-

messen: Im Rektum, an Zehe, Fuss, Unterschenkel, Oberschenkel, Daumen, Hand, Unterarm, Oberarm, Stirn, Brust, Epigastrium. Stirn - Brust - und Epigastriumtemperaturen wurden mit einem Tasterthermoelement, welches von der Vp selbst in regelmässigen Abständen an den betreffenden Stellen aufgelegt wurde, gemessen. An den übrigen Körperstellen wurde mit fest angebrachten Thermoelementen gearbeitet.

Ausser diesen Temperaturmessungen an der Vp wurde noch-ebenfalls in 10 - minütigen Abständen - die Minutenschlagzahl des Herzens mittels eines am Ohr befestigten photoelektrischen Pulszählers bestimmt. In gleichen Abständen wurde auch die Atmung der Vp vom Protokolleur gezählt.

d) Versuchsprogramm:

Sämtliche Klimakammerversuche mit den 3 genannten Vpp fanden in der Zeit vom 30. 7. - 9. 11. 1963 statt. Auf die einzelnen Vpp gliedert sich dieser Zeitraum folgendermassen auf:
Vp N. mit 14 Versuchen vom 30. 7. - 27. 8. 1963;
Vp K. mit 10 Versuchen vom 15.8. - 26. 8. 1963;
Vp H. mit 18 Versuchen vom 8.10. - 9.11. 1963.

Die folgende Tabelle bringt eine Übersicht über die Versuchsanzahl der einzelnen Versuchsbedingungen mit den zugehörigen Vpp.

Tabelle a:

Klima = H_2O-Dampfdruck von ...		Anzahl der Versuche mit Vp
29/26	23,4 mm Hg	2 H
29/23	17,7 mm Hg	2 H
29/19	11,4 mm Hg	2 H
28/26	24,2 mm Hg	3 N, 2 K
28/23	18,4 mm Hg	2 N, 2 K
28/19	11,9 mm Hg	2 N, 2 K
27/25	22,7 mm Hg	2 H
27/22	17,2 mm Hg	2 H
27/18	11,0 mm Hg	2 H
25/23	20,1 mm Hg	2 H, 2 N, 2 K
25/20	14,8 mm Hg	2 H, 2 N, 2 K
25/18	11,6 mm Hg	2 H
24/22	18,8 mm Hg	2 N*
24/20	15,4 mm Hg	- -*
24/18	12,5 mm Hg	1 N*

Die Angabe z.B. "28/26" bedeutet einen Klimazustand von 28° C Trockentemperatur, 26° C Feuchttemperatur (also eine Differenztemperatur von 2° C), was einem Wasserdampfdruck von 24,2 mm Hg entspricht. Die Bezeichnung von z.B. "3 N" hinter einer bestimmten Versuchsbedingung bedeutet, dass Vp N. bei dieser Versuchsbedingung 3 Versuche absolviert hat. Die mit * bezeichneten Versuche wurden nicht ausgewertet, weil sich während des Versuches bei der Vp eine Kühleempfindung eingestellt hatte, was ein Unterschreiten der Grenze des Behaglichkeitsbereiches bei diesem Klima und damit eine Stoffwechselsteigerung der Vp vermuten liess.

Aus der Arbeit von Koe und Höfler (1963) über den Tagesgang von Körpertemperatur und Grundumsatz ist zu entnehmen, dass bei männlichen Vpp in der Tageszeit von 10 - 16 Uhr bezüglich Stoffwechselgrösse und Einstellung der Temperaturregulation eine weitgehende Konstanz herrscht. Aus diesem Grunde fanden auch sämtliche Versuche der vorliegenden Arbeit in diesem Zeitraum statt. Deshalb wiederum war es auch unmöglich, z.B. 2 Vpp bei gleicher Versuchsbedingung an einem Tag zu messen; man musste nämlich - einschliesslich der Vorbereitungsdauer von 30 - 50 Minuten - mit einer möglichen Versuchsdauer von 4,5 Stunden rechnen.

Die Vorbereitungsdauer richtete sich nach dem Zeitaufwand, den die Versuchsvorbereitungen innerhalb der Klimakammer erforderten. Es waren der Frigorigraph aufzuheizen und die sonstigen Apparaturen einzuschalten, ferner mussten die Thermoelemente auf den entsprechenden Hautbezirken der Vp aufgelegt werden, was die meiste Zeit der Vorbereitungsdauer benötigte. Während dieser Vorbereitungsdauer war die Vp schon in der Klimakammer, konnte sich folglich auch schon akklimatisieren, so dass bei Messbeginn der steilste Teil der Temperaturkurve (Abb. Siehe D 1.), die sich einem konstanten Endwert assymptotisch nähert, schon durchlaufen worden war.

Die Gesamtversuchsdauer, die keineswegs konstant war, richtet sich nach der Einstellgeschwindigkeit der Temperaturkurve auf diesen konstanten Endwert. Bei hohen Trockentemperaturen oder hohen Luftfeuchten in der Klimakammer wurde dieser konstante End-

wert schneller erreicht. Die Gründe hierfür werden weiter unten besprochen. Es sind auf diese Weise in vorliegender Versuchsreihe schon Versuche mit einer Messdauer von nur 1,5 Stunden möglich gewesen.

Natürlich spielen auch noch andere Faktoren für die Einstellgeschwindigkeit eine Rolle, so z.B. extremes Aussenklima, oder unerwartete Blutverschiebungen zwischen Kern und Schale.

Während der Messdauer wurde in Abständen von 10 Minuten folgendes gemessen: Die genannten Hautstellen - und Rektaltemperaturen, ausserdem die Frigorigraphentemperatur, Puls und Atmung. Das Assmann - Psychrometer wurde alle 5 Minuten abgelesen.

e) Auswertung:

Die Berechnung der integralen Hauttemperatur (JT) erfolgte nach der Formel von Pfleiderer (Hogger 1947), wonach folgende Körperstellen mit entsprechenden Faktoren multipliziert werden:

Stirn	0,12
Brust	0,18
Epigastrium	0,16
Oberarm (vorn)	0,08
Unterarm (radial)	0,06
Handrücken	0,03
Oberschenkel (vorn)	0,18
Unterschenkel (fibular)	0,14
Fussrücken	0,05

Die Temperaturkurve der so gewonnenen Grösse JT bewegt sich wie die Temperaturkurven anderer Körperstellen auf einen konstanten Endwert, der dann mit periodischen Schwankungen eingehalten wird.

Die Berechnung des mittleren Endwertes erfolgte jeweils aus den 3 letzten Messwerten der einzelnen Körperstellen und der JT vor Versuchsende. Die mittleren Endwerte von verschiedenen Vpp bei gleichen Versuchsbedingungen wurden zusammen berechnet. Der mittlere Fehler der so gewonnenen mittleren Endwerte der Temperaturkurven wurde nach der bekannten Formel $s = \sqrt{\frac{(\Delta x_i)^2}{n - 1}}$ bestimmt.

Die Prüfung auf Sicherung einer Differenz der mittleren Endwerte bei verschiedenen Versuchsbedingungen erfolgte durch den X - Test (B.L. van der Waerden 1956).

D) Ergebnisse:

1.) Beschreibung von 4 typischen Kurvenverläufen der Vp H. (siehe Abb. 1 a, b, c, d):

Bei den Kurven a, b, c handelt es sich um Versuchsverlaufe bei gleicher Trockentemperatur von 25° C. Nur die Luftfeuchtigkeit wird variiert. Die Feuchttemperatur beträgt für Versuch a 18° C (entspricht 11,6 mm Hg Dampfdruck), für Versuch b 20° C (entspricht 14,8 mm Hg), für Versuch c 23° C

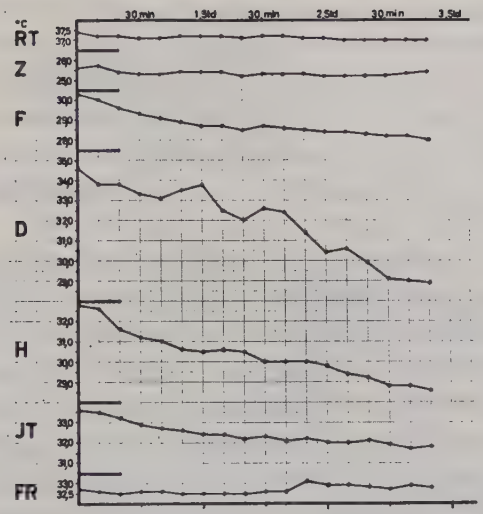


Abb. 1 a

Kurvenverlauf bei:
25°C Trockentemp.,
18°C Feuchttemp.,
11,6 mm Hg
Dampfdruck.

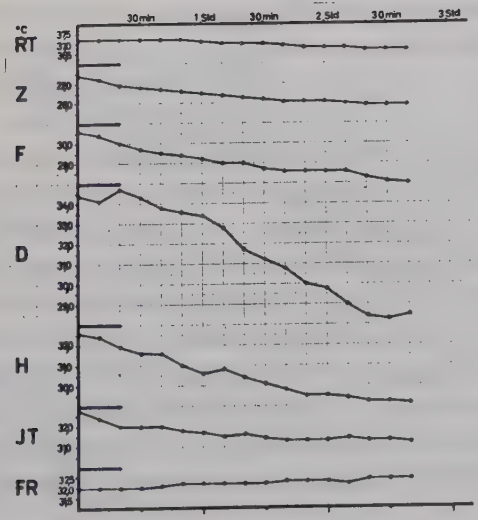


Abb. 1 b

Kurvenverlauf bei:
25°C Trockentemp.,
20°C Feuchttemp.,
14,8 mm Hg
Dampfdruck.

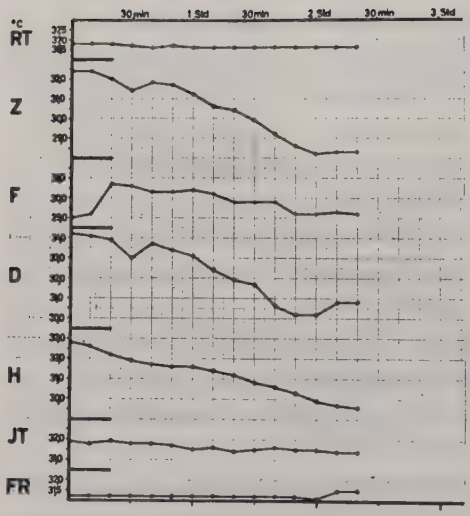


Abb. 1 c

Kurvenverlauf bei:
25°C Trockentemp.,
23°C Feuchttemp.,
20,1 mm Hg
Dampfdruck.

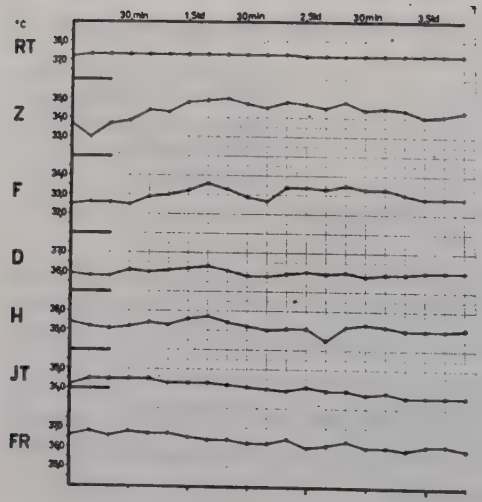


Abb. 1 d

Kurvenverlauf bei:
29°C Trockentemp.,
26°C Feuchttemp.,
23,4 mm Hg
Dampfdruck.

(entspricht 20,1 mm Hg). Der Genauigkeit halber sei nochmals erwähnt, dass die Registrierung der einzelnen Hauttemperaturen konstant nach einer Vorbereitungszeit von ca. 40 Minuten einsetzte, während der sich die Vp H. schon in der Klimakammer befand, sich also schon zu akklimatisieren begann.

Bei oberflächlichem Vergleich der 3 Versuchsverläufe fällt zunächst einmal die unterschiedliche Versuchsdauer auf, die sich ja nach der Einstellzeit auf einen Endwert desjenigen Körperoberflächenmesspunktes richtet, der am längsten noch eine Tendenz zeigt. Dies trifft zweifellos für die Akren zu, und zwar bei Versuch a (niedrige Feuchte!) mehr für die Daumentemperatur, bei Versuch c (hohe Feuchte!) mehr für die Zehentemperatur. Bei konstanter Lufttemperatur, jedoch verschiedenen Luftfeuchtigkeiten beobachtet man also das gleiche unterschiedliche Verhalten der oberen und unteren Extremität wie bei verschiedenen Lufttemperaturen (Vergleiche unten: Besprechung des Temperaturverlaufes bei 29° C).

Da die Tendenz zu schnellerer Einstellung auf einen Endwert bei Versuchen mit steigender Feuchte (b, c) zunimmt, liegt die Vermutung nahe, dass auch der insgesamt eintretende Temperaturabfall der Hauttemperaturen geringer wird. Dies wird bei den Versuchen von a über b nach c auch bestätigt. Die Absolutwerte der von den Akren schliesslich erreichten Temperaturen liegen um so höher, je höher die Luftfeuchte ist. Das umgekehrte Verhalten zeigt die RT, deren Endwert bei der höchsten Luftfeuchte

am niedrigsten ist. Man wird dies mit F.H.König (1944) auf eine Wärmeverschiebung zwischen Kern und Schale zurückführen können. Insgesamt kommt man so zu der Feststellung, dass eine Zunahme der Luftfeuchtigkeit hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Hauttemperatur gleichzusetzen ist mit einer Zunahme der Trockentemperatur (vgl. D 5. Abb.3.).

Die Höhe des Temperaturabfalles bei den einzelnen Hauttemperaturen variiert sehr stark und ist ein Mass für ihre temperaturregulatorische Aktivität. Diese ist - wie schon erwähnt - einmal für die Zehentemperatur, dann bei trockenen Bedingungen für die Daumentemperatur am grössten. Beiden gemeinsam ist ihre Eigenschaft, das äusserste Ende der Extremitäten zu bilden. Damit ist eine gewisse Grösse des Oberflächen - Volumen - Quotienten verbunden, der bei weitem denjenigen von Hand bzw. Fuss oder Arm bzw. Unterschenkel übertrifft. Ausserdem bewirken die kleinen Krümmungsradien der Finger und Zehen günstige Wärmeübergangsbedingungen. Alle diese Faktoren führen dazu, dass sich an den Akren sowohl der Einfluss der Umgebungstemperatur, als auch der Effekt der bezüglich der Hauttemperatur grundsätzlich in gleicher Richtung wirkenden thermoregulatorischen Durchblutungsänderungen am stärksten auswirken.

Temperaturkurvenverlauf d ergab sich bei 29° C Trockentemperatur und 26° C Feuchttemperatur (entspricht 23,4 mm Hg). Als erstes fällt auf, dass die Kurve keine fallende, sondern leicht steigende Tendenz hat. Dieser Temperaturanstieg ist fast durch-

weg bei allen Hauttemperaturen relativ gering, was den Schluss erlaubt, dass vorliegendes Klima in etwa temperaturregulatorische Verhältnisse schafft, wie sie bei der Vp N. vor Beginn des Versuches in bekleidetem Zustand und Bewegung geherrscht haben.

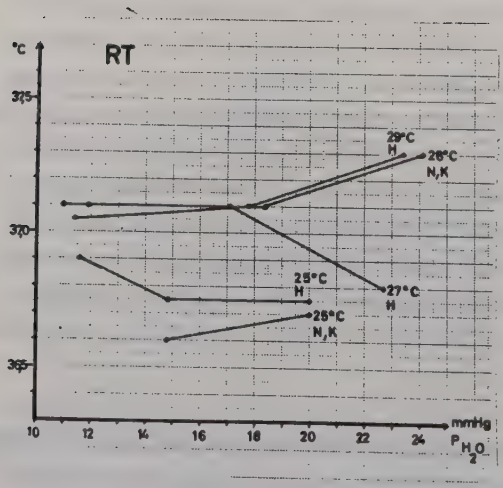
Beim Vergleich der Temperaturkurven von Zehe und Daumen fällt sofort eine gewisse Inaktivität des Daumens im Vergleich zur Zehe auf. Die Daumentemperatur am Versuchsende ist praktisch schon bei Beginn erreicht. Für diese hohe Trockentemperatur bei ebenfalls hoher Luftfeuchte ist also die wärmeregulatorische Kapazität des Daumens erschöpft. Die Hauttemperatur des Daumens kann nicht weiter erhöht werden. An die Stelle der Finger treten die Zehen. Konnte die Zehe im Versuch a ihre Wärmeabgabe durch Senkung der Hauttemperatur nicht weiter drosseln, so trifft dies jetzt in umgekehrter Weise für den Daumen zu, der im Verlauf d schon am Anfang des Versuchs nicht mehr in der Lage ist, die Wärmeabgabe durch Erhöhung der Hauttemperatur zu steigern. Man kommt somit zu der allgemeinen Aussage, dass für niedrige Temperaturen und niedrige Feuchten innerhalb des Behaglichkeitsbereiches der Daumen, überhaupt die Finger die Feineinstellung der Wärmeabgabe übernehmen, während dies im mittleren und höheren Behaglichkeitsbereich für die Zehe zutrifft (Roth und Mitarbeiter, 1940).

Zu erwähnen ist noch, dass die hier vorliegende Länge des Versuchs nicht notwendig war, da ja die Endeinstellung etwa bereits nach einer Stunde erreicht war. Es wurde lediglich wegen der grossen Temperatursprünge von Zehe und Fuss weitergemessen.

Abbildungen 2.:

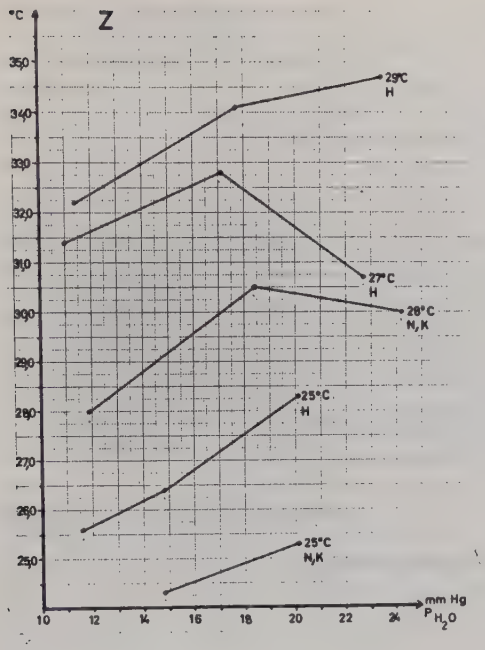
Zusammenstellung der Endwerte aller 3 Versuchspersonen als Abbildungen. Der jeweilige Hautbezirk, auf den sich die Zusammenstellung der Endwerte bezieht, ist neben der betreffenden Einzelabbildung angegeben.

Besprechung siehe Text.

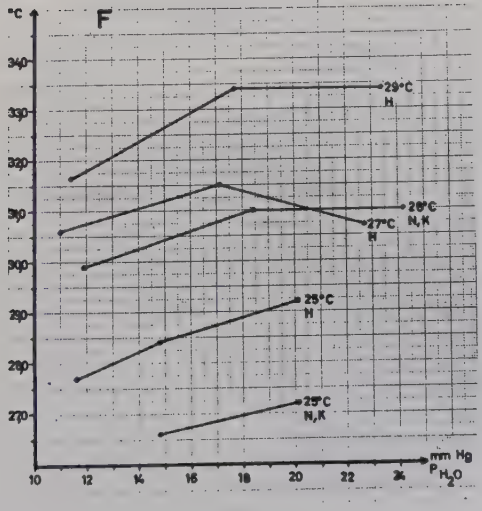


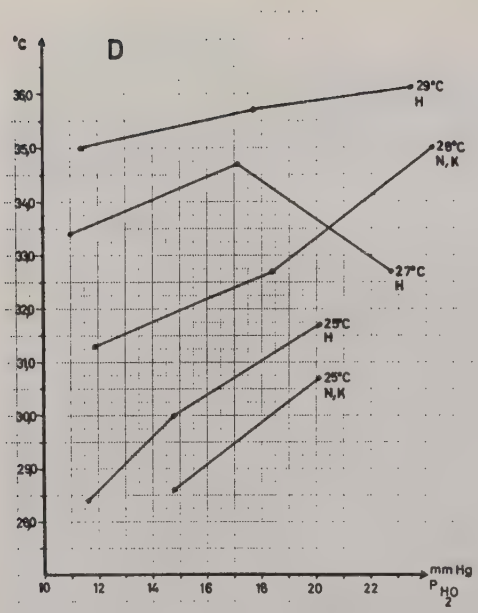
Rektaltemperatur

Zehentemperatur

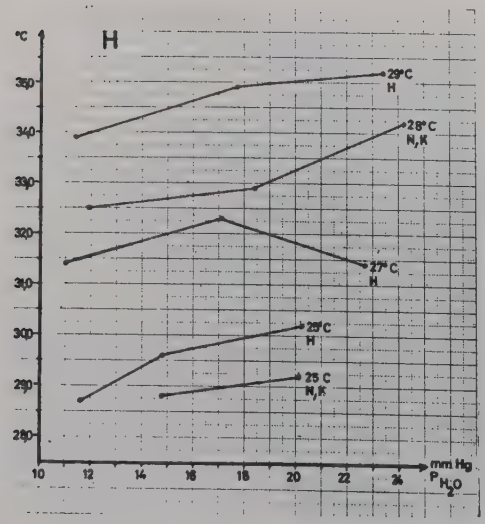


Fusstemperatur

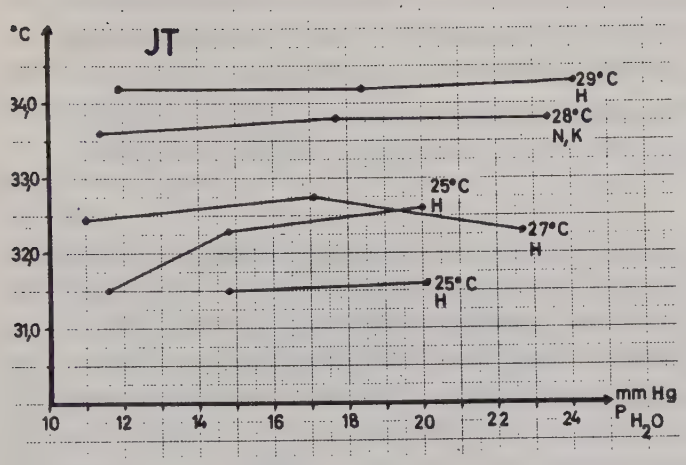




Daumentemperatur



Handtemperatur



Integrale Hauttemperatur

2.) Zusammenstellung der Endwerte von Rektaltemperatur (RT), Zehentemperatur (Z), Fusstemperatur (F), Daumentemperatur (D), Handtemperatur (H), integraler Hauttemperatur (JT) von allen 3 Versuchspersonen als Abbildungen (siehe Abbildungen 2.):

Diese Kurven ergeben sich aus der Abhängigkeit der einzelnen Hauttemperaturen (aufgetragen auf Ordinate in ^{o}C) von verschiedenen vorgegebenen Luftfeuchtigkeiten (auf Abszisse in mm Hg) bei konstanter Trockentemperatur (neben Einzelkurve angegeben).

Unter der Angabe der konstanten Trockentemperatur ist die zugehörige Vp angegeben. Die Vp N. und Vp K. wurden wegen Gleichheit der Versuchsbedingungen und Ähnlichkeit des Habitus zusammen ausgewertet.

Um einen Grössenvergleich der Temperatursprünge zu ermöglichen, wurden die Einheiten für ^{o}C und mm Hg einheitlich gewählt, ausser bei der RT - Abbildung. Hier überhöhte man wegen der Geringgradigkeit der Temperaturschwankungen die 1^{o} C entsprechende Distanz um das Zweieinhalbfache.

Wie schon bei der Besprechung der Kurvenverläufe erwähnt und auch hier zu erwarten, steigt die Temperatur der 4 diskutierten Hautbezirke mit zunehmender Feuchte an, abgesehen von noch zu besprechenden Ausnahmen, vor allem bei der 27^{o} C - H - Kurve in allen 4 Abbildungen. Man kommt also hier wieder zu der Feststellung (siehe Beschreibung der 3 typischen

Kurvenverläufe in D 1.), dass eine Zunahme der Luftfeuchte hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Hauttemperatur gleichzusetzen ist mit einer Zunahme der Trockentemperatur.

Dies lässt sich sehr schön zeigen, wenn man sich bei der Z - Abbildung eine abszissenparallele Linie vom Punkt mittlerer Feuchtigkeit (17,2 mm Hg) der 27° C-H-Kurve bis zum Schnittpunkt mit der 29° C-H-Kurve verlängert denkt. Dieser Schnittpunkt mit der 29° C-H-Kurve liegt ungefähr bei einer Feuchte von 13,5 mm Hg (entspricht einer Feuchttemperatur zwischen 20 und 21° C). Man kommt also zu der quantitativ keineswegs gesicherten, prinzipiell jedoch sinnvollen Aussage, dass für die Vp H. das Klima von 27° C bei 17,2 mm Hg einem solchen von 29° C bei 14,5 mm Hg hinsichtlich seiner thermischen Wirkung etwa entspricht. Wie nachträglich festgestellt wurde, lässt sich diese Aussage sogar quantitativ durch das Nomogramm der amerikanischen Effektivtemperatur für den ungekleideten Menschen (Handbuch der ges. Arbeitsmed. I, 1961) bestätigen.

Betrachtet man die Abbildungen der Endtemperaturen von RT und JT, so kann man vermuten, dass eine solche Gesetzmässigkeit, wenn überhaupt, dann nur in geringem Masse vorhanden ist. Bei der JT - Abbildung ist eine schwache, bei der RT - Abbildung überhaupt keine Tendenz zu Temperaturerhöhung bei steigender Luftfeuchtigkeit festzustellen.

Nun zu dem widersinnigen Verlauf der 27° C-H-Kurve in allen Abbildungen: Die Kurve der 27° C - Versuche zeigt bei den 4 Hautregionen, sowie bei der RT - und der JT - Endwertskurve bei höchster Feuchtigkeit einen Knick nach

unten, d.h. einen Temperaturabfall mit steigender Feuchte, der im Widerspruch zu der oben festgestellten Gesetzmässigkeit steht.

Mit derartigen Unregelmässigkeiten muss man bei beschränkter Versuchszahl rechnen, da die jeweilige Situation der Temperaturregulation nicht nur vom umgebenden Klima, sondern auch von anderen Faktoren, in erster Linie der unmittelbaren "Vorgeschichte" der Vp abhängt, (vorausgegangene Aktivität, vorher einwirkende klimatische Einflüsse u.a.m.).

Eine weitere Unregelmässigkeit fällt auf: Bei den Endwertabbildungen von Zehe, Daumen, Hand liegt die 27°C - H - Kurve über der 28°C - N.,K. - Kurve, d.h. bei gleicher Luftfeuchtigkeit und geringerer Trockentemperatur liegt die akrale Hauttemperatur von Vp H. höher als diejenige von Vpp N. und K.. In gleichem Sinn liegt die 25°C - H - Kurve bei gleicher Feuchtigkeit höher als die 25°C - N., K. - Kurve. Dieser Tatbestand wird durch das starke interindividuelle Schwanken quantitativer Art in der Temperaturregulation bei verschiedenen Vpp verursacht (Siehe auch E 2.). In späteren, hier noch nicht verwerteten Versuchen stellte sich ebenfalls heraus, dass die Vp H. bei jeder Bedingung erheblich höhere Hauttemperaturen hat als verschiedene andere Versuchspersonen.

3.) Tabellarische Zusammenstellung der Ergebnisse von Versuchen der Vpp N., K. und Vp H.:

Die Werte beziehen sich auf Mittelwerte aus den letzten 3 Ablesungen (mittlerer Endwert) nebst dem mittleren Fehler von Versuchen gleicher Klimabedingung.

Statistische Auswertung nach X - Test von v.d.Waerden. Gesicherte Unterschiede zwischen den einzelnen Feuchtigkeitsgraden sind unterstrichen (P 2,5 %).

Tabelle b: Zusammenstellung der mittleren Endwerte der Vpp N., K.
(wurden zusammen ausgewertet):

Klima	28/26	28/23	28/19	28/26	25/23	25/20
RT	37,3 ± 0,13	37,1 ± 0,21	37,1 ± 0,04	37,3 ± 0,13	36,7 ± 0,34	36,6 ± 0,42
	x = 5,65	x = 1,98	x = 6,30		x = 1,05	
Z	30,0 ± 1,74	30,5 ± 3,90	28,0 ± 2,73	30,0 ± 1,74	25,3 ± 0,51	24,3 ± 0,61
	x = -0,37	x = 5,48	x = 5,10		x = 8,38	
F	31,0 ± 0,86	31,0 ± 2,79	29,9 ± 1,23	31,0 ± 0,86	27,2 ± 1,01	26,6 ± 1,28
	x = 0,00	x = 1,03	x = 4,18		x = 3,37	
D	35,0 ± 0,83	32,7 ± 3,54	31,3 ± 3,61	35,0 ± 0,83	30,7 ± 2,73	28,6 ± 3,99
	x = 1,48	x = 4,42	x = 5,15		x = 3,22	
H	34,2 ± 0,51	32,9 ± 2,53	32,5 ± 1,18	34,2 ± 0,51	29,2 ± 2,32	28,8 ± 3,17
	x = 0,00	x = 0,30	x = 7,43		x = 2,92	
IT	34,3 ± 0,32	34,2 ± 0,32	34,2 ± 0,29	34,3 ± 0,32	32,6 ± 0,22	32,3 ± 0,42
	x = 3,73	x = 1,37	x = 3,44		x = 4,22	

Tabelle c_1: Zusammenstellung der mittleren Endwerte der Vp H.:

Versuche bei 29° C Trockentemperatur.

Klima	29/26	29/23	29/19	29/26
RT	37,3 ± 0,11	37,1 ± 0,11	37,1 ± 0,06	37,3 ± 0,11
	x = 3,19	x = 1,15	x = 4,08	
Z	34,7 ± 0,59	34,1 ± 0,70	32,2 ± 0,87	34,7 ± 0,59
	x = 2,30	x = 4,08	x = 4,08	
F	33,4 ± 0,64	33,4 ± 1,07	31,7 ± 0,09	33,4 ± 0,64
	x = 0,00	x = 4,08	x = 4,08	
D	36,1 ± 0,17	35,7 ± 0,21	35,0 ± 0,75	36,1 ± 0,17
	x = 4,08	x = 1,74	x = 4,08	
H	35,2 ± 0,23	34,9 ± 0,36	33,9 ± 0,91	35,2 ± 0,23
	x = 2,69	x = 2,96	x = 3,88	
IT	33,8 ± 0,24	33,8 ± 0,05	33,6 ± 0,06	33,8 ± 0,24
	x = 0,00	x = 4,08	x = 2,23	

Tabelle c_2: Zusammenstellung der mittleren Endwerte der Vp H.:

Versuche bei 27° C Trockentemperatur.

Klima	27/25	27/22	27/18	27/25
RT	36,8 ± 0,00	37,1 ± 0,00	37,1 ± 0,11	36,8 ± 0,00
	x = -4,08	x = 0,00	x = -4,08	
Z	30,7 ± 0,77	32,8 ± 0,23	31,4 ± 1,10	30,7 ± 0,77
	x = -4,08	x = 3,84	x = -2,30	
F	30,7 ± 0,47	31,5 ± 0,16	30,6 ± 0,61	30,7 ± 0,47
	x = -4,08	x = 4,08	x = 1,37	
D	32,7 ± 0,89	34,7 ± 0,61	33,4 ± 0,44	32,7 ± 0,89
	x = -3,98	x = 3,79	x = -2,17	
H	31,4 ± 0,38	32,3 ± 0,99	31,4 ± 0,53	31,4 ± 0,38
	x = -2,30	x = 2,07	x = -0,12	
IT	32,3 ± 0,22	32,8 ± 0,14	32,5 ± 0,06	32,3 ± 0,22
	x = -3,88	x = 4,08	x = -1,31	

Tabelle c_3: Zusammenstellung der mittleren Endwerte der Vp H.:

Versuche bei 25° C Trockentemperatur.

Klima	25/23	25/20	25/18	25/23
RT	36,8 ± 0,16	36,8 ± 0,06	36,9 ± 0,11	36,8 ± 0,16
	x = 0,00	x = -3,19	x = -2,30	
Z	28,3 ± 0,12	26,4 ± 0,57	25,6 ± 0,32	28,3 ± 0,12
	x = 4,08	x = 3,48	x = 4,08	
F	29,2 ± 0,19	28,4 ± 0,28	27,7 ± 0,51	29,2 ± 0,19
	x = 4,08	x = 3,19	x = 4,08	
D	31,7 ± 1,34	30,0 ± 1,80	28,4 ± 0,70	31,7 ± 1,34
	x = 1,85	x = 2,30	x = 4,08	
H	30,2 ± 0,59	29,6 ± 0,52	28,7 ± 0,13	30,2 ± 0,59
	x = 2,18	x = 4,08	x = 4,08	
IT	31,6 ± 0,17	31,5 ± 0,24	31,5 ± 0,30	31,6 ± 0,17
	x = 1,28	x = -0,44	x = 0,49	

4.) Tabellarische Zusammenstellung der Ergebnisse zu Versuchsbeginn der Vp H.

Obwohl die Endwerte frühestens nach 2 Stunden erreicht werden, lassen sich bei einem Teil der Versuche Unterschiede zwischen den einzelnen Feuchtigkeitsgraden schon bei Versuchsbeginn sichern. Dies entspricht der Beobachtung, dass die subjektive Beurteilung des Klimas bei Versuchsbeginn leichter und sicherer ist, als nach einer Expositionszeit von mehr als 2 Stunden. Offenbar lagen für unsere unbekleideten Versuchspersonen die meisten Versuchsbedingungen im unteren, höchstens mittleren Bereich der Behaglichkeitszone. Eine Ausnahme hiervon stellen die 29° C - Versuche der Vp H. dar, von denen ein Teil sogar steigende Tendenz aufweist (siehe D 1., Abb.1 d).

Die Werte der nun folgenden Tabellen beziehen sich auf Mittelwerte aus der 4., 5. und 6. Ablesung (4. Ablesung - 30 Minuten nach Ablesungsbeginn) nebst dem mittleren Fehler bei Versuchen gleicher Klimabedingung mit der Vp H.. Bei einer Vorbereitungsdauer bis Ablesungsbeginn von 30 - 50 Minuten sind diese Werte also 60 - 80 Minuten nach Versuchsbeginn abgelesen worden. (Bei den Versuchen mit Vp N. und Vp K. wurden diese Zeiten nicht so genau eingehalten, weswegen hier nur eine Tabelle aus Werten von Vp H. angeführt wird.)

Statistische Auswertung nach X - Test von v.d.Waerden. Gesicherte Unterschiede zwischen einzelnen Feuchtigkeitsgraden sind unterstrichen (P 2,5 %).

Tabelle d_1: Zusammenstellung der mittleren Anfangswerte der Vp H.:

Versuche bei 29° C Trockentemperatur.

Klima	29/26	29/23	29/19	29/26
RT	37,4 ± 0,06	37,1 ± 0,06	37,1 ± 0,06	37,4 ± 0,06
	x = 4,08	x = 1,80	x = 4,08	
Z	34,7 ± 0,62	33,9 ± 1,30	31,2 ± 1,46	34,7 ± 0,62
	x = 2,30	x = 3,29	x = 4,08	
F	33,5 ± 0,78	33,3 ± 1,24	31,2 ± 0,20	33,5 ± 0,78
	x = 0,25	x = 4,08	x = 4,08	
D	36,2 ± 0,19	35,7 ± 0,29	35,0 ± 0,39	36,2 ± 0,19
	x = 4,08	x = 3,50	x = 4,08	
H	35,3 ± 0,15	34,6 ± 0,69	34,1 ± 0,77	35,3 ± 0,15
	x = 3,79	x = 2,30	x = 4,08	
IT	34,3 ± 0,17	34,0 ± 0,08	33,7 ± 0,13	34,3 ± 0,17
	x = 3,88	x = 3,98	x = 4,08	

Tabelle d_2: Zusammenstellung der mittleren Anfangswerte der Vp H.:

Versuche bei 27° C Trockentemperatur.

Klima	27/25	27/22	27/18	27/25
RT	37,1 ± 0,05	37,2 ± 0,06	37,2 ± 0,06	37,1 ± 0,05
	x = -3,04	x = 0,68	x = -2,53	
Z	32,2 ± 0,58	32,8 ± 0,56	30,9 ± 0,91	32,2 ± 0,58
	x = -2,26	x = 4,08	x = 3,06	
F	31,1 ± 0,55	31,4 ± 0,53	30,3 ± 0,53	31,1 ± 0,55
	x = -2,30	x = 4,08	x = 2,40	
D	34,9 ± 0,24	35,0 ± 0,18	34,9 ± 0,21	34,9 ± 0,24
	x = -1,65	x = 1,32	x = -0,40	
H	33,1 ± 0,24	33,0 ± 1,28	32,6 ± 0,24	33,1 ± 0,24
	x = 0,82	x = 2,47	x = 3,68	
IT	32,9 ± 0,11	32,9 ± 0,13	33,0 ± 0,06	32,9 ± 0,11
	x = -1,66	x = 0,26	x = -3,10	

Tabelle d_3: Zusammenstellung der mittleren Anfangswerte der Vp H.:

Versuche bei 25° C Trockentemperatur.

Klima	25/23	25/20	25/18	25/23
RT	36,9 ± 0,21	37,2 ± 0,00	37,2 ± 0,06	36,9 ± 0,21
	x = -4,08	x = 1,57	x = -3,49	
Z	31,6 ± 0,41	27,3 ± 0,62	26,6 ± 1,38	31,6 ± 0,41
	x = 4,08	x = 0,98	x = 4,08	
F	30,5 ± 0,19	29,5 ± 0,13	28,7 ± 0,52	30,5 ± 0,19
	x = 4,08	x = 4,08	x = 4,08	
D	33,8 ± 0,60	34,2 ± 0,47	33,5 ± 0,27	33,8 ± 0,60
	x = -1,82	x = 3,60	x = 1,31	
H	32,4 ± 0,77	32,0 ± 0,72	31,0 ± 0,22	32,4 ± 0,77
	x = 1,43	x = 4,08	x = 4,08	
IT	31,9 ± 0,13	32,2 ± 0,28	32,4 ± 0,40	31,9 ± 0,13
	x = -2,83	x = -1,57	x = -3,23	

5.) Dreidimensionale Abbildung der Endwerte aller Handtemperaturkurvenverläufe der 3 Versuchspersonen (siehe Abb. 3.).

Gemessene Werte sind als dicke Punkte gekennzeichnet. Auf der X - Achse ist die Trockentemperatur, auf der Y - Achse die Hauttemperatur und auf der Z - Achse die Feuchttemperatur aufgetragen. Die Hauttemperaturwerte der Bedingungen 25/23 und 25/20 (Trocken-, Feuchttemperatur) erscheinen hier als gemittelte Endwerte aller 3 Vpp.

Wie oben erwähnt (siehe D 1. und 2.) kommt hier wieder zum Ausdruck, dass ein Anstieg der Luftfeuchtigkeit (hier in Feuchttemperatur angegeben) gleichbedeutend ist mit einem Anstieg der Trockentemperatur: sichtbar am Anstieg der Ebene auf der X - Achse und der Z - Achse, was bewirkt, dass der tiefste Punkt der so gebildeten schiefen Fläche an der Stelle der niedrigsten Feuchttemperatur und der niedrigsten Trockentemperatur sitzt.

E) Diskussion der Ergebnisse.

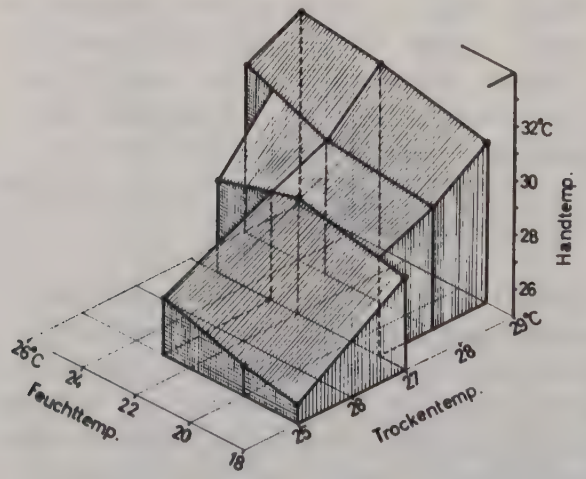
1.) Hauttemperatur und Luftfeuchtigkeit.

Im Gegensatz zu Thauer und Mitarbeitern haben wir uns bei unseren Untersuchungen auf den mittleren bis unteren Bereich der Behaglichkeitszone beschränkt und nur relativ geringe Unterschiede der

Abbildung 3.:

Dreidimensionale Abbildung der Endwerte aller Handtemperaturkurvenverläufe der 3 Versuchspersonen.

Besprechung siehe Text.



Luftfeuchtigkeit angewandt. (Minimaler Wasserdampfdruck 11,0 mm Hg, maximaler Wasserdampfdruck 24,2 mm Hg).

In dem untersuchten Bereich können wir in Übereinstimmung mit den genannten Autoren eine Abhängigkeit der JT von der Luftfeuchtigkeit feststellen. Die einzelnen Hauttemperaturen liegen umso höher, je höher die Luftfeuchtigkeit ist. Ein Ansteigen der RT bei steigender Luftfeuchtigkeit konnte von uns nicht gesichert werden.

Besonders eindrucksvoll ist dieser Effekt der Luftfeuchtigkeit an den peripheren Extremitätentemperaturen ablesbar. Sie können bei konstanter Trockentemperatur um mehr als 3° C variieren. (z.B. sichtbar an der 25° C - Kurve des Daumens der Vp H., in der eine Feuchtedifferenz von 8,5 mm Hg eine Hauttemperaturdifferenz von sogar 3,3° C bewirkt. Siehe D 2.)

In der Auslegung unserer Versuchsergebnisse kann man sich zunächst Thauer und Mitarbeitern anschliessen. Bei gegebener Aussen - und Kerntemperatur ist die Hauttemperatur eine Funktion der inneren und äusseren Wärmetransportbedingungen. Wie theoretisch zu erwarten, ist nach den Ergebnissen von Thauer und Mitarbeitern bei Erhöhung des Wasserdampfdruckes der Luft die insensible Perspiration eingeschränkt. Dieser Tatbestand lässt sich formal als Zunahme des äusseren Wärmeübergangswiderstandes auffassen. Unter diesen Umständen muss die Hauttemperatur ansteigen, und zwar solange (bei konstant bleibender Wärmebildung), bis die Erhöhung der äusseren Temperaturdifferenz die Zunahme des Wärmeübergangswiderstandes

kompensiert hat. Denn:

$$(1)\quad Q = \frac{(H - L)}{W_{ä}} \left[\frac{cal}{cm^2 \cdot min}\right]$$

Q - Wärmestrom im stationären Zustand
H - Hauttemperatur
L - Lufttemperatur
$W_{ä}$ - äusserer Wärmeübergangswiderstand

Damit ist jedoch eine Verminderung des inneren Temperaturgefälles verbunden, was die Konstanz des inneren Wärmestromes zu stören droht. Dieser ist natürlich gleich dem äusseren Wärmestrom, denn es gilt:

$$(2)\quad Q_{ä} = Q_{i} = \frac{(H - L)}{W_{ä}} = \frac{(K - H)}{W_{i}} \left[\frac{cal}{cm^2 \cdot min}\right]$$

K - Kerntemperatur
W_{i} - innerer Wärmeübergangswiderstand

Unter der Voraussetzung, dass die Wärmebildung und der dadurch entstehende Wärmestrom konstant bleibt, kann man die Gleichung folgendermassen umformen:

$$(3)\quad \frac{K - H}{H - L} = \frac{W_{i}}{W_{ä}}$$

Bei Verminderung des inneren Temperaturgefälles bestehen nun für das Verhalten der Kerntemperatur zwei Möglichkeiten: Einmal bleibt der innere Wärmewiderstand unverändert, dann muss auch die Kerntemperatur steigen, bis obige Gleichung erfüllt ist. Anderer-

seits kann in einem Regelvorgang der innere Wärmewiderstand (W_i) herabgesetzt werden, so dass nur ein minimaler Kerntemperaturanstieg erforderlich ist.

Der Anstieg der Hauttemperatur ist selbstverständlich nicht als ein rein physikalischer Vorgang einer Wärmestauung in der Schale aufzufassen, da ja auch eine Abnahme des inneren Wärmewiderstandes zu einer Erhöhung der Hauttemperatur führen muss.

Nach den Untersuchungen von Thauer und Mitarbeitern sowie nach unseren Messungen tritt bei Erhöhung der Luftfeuchtigkeit sowohl eine Erhöhung der Hauttemperatur wie der Kerntemperatur ein. Thauer (1958) neigt dazu, in dem beobachteten RT - Anstieg den Ausdruck einer Restabweichung eines Proportionalreglers zu sehen. Prinzipiell denkbar ist aber auch die oben (1) angeführte Vorstellung einer unterschwellig bleibenden Wärmestauung. Wahrscheinlich treffen beide Erklärungen zu.

In den Versuchen von Zöllner und Thauer (1954) war ausser der Abhängigkeit der Perspiratio insensibilis vom Wasserdampfdruck der Luft und von der Trockentemperatur der Luft auch eine Zeitabhängigkeit aufgefallen: Im Bereich niedriger Lufttemperaturen war die Perspiratio insensibilis in der 3. Versuchsstunde niedriger als in der 1. Versuchsstunde. Bei höheren Lufttemperaturen über 33° C nahm die Perspiration dagegen mit der Zeit stark zu. Die Versuche bei 31° C Lufttemperatur nahmen in dieser Hinsicht eine Mittelstellung ein.

Diese Ergebnisse lassen sich auf den zeitlichen Ablauf der Hauttemperatur beziehen, wie er von uns beobachtet wurde (siehe D 1.). Bei den niedrigen Lufttemperaturen kam es in unseren Versuchen regelmässig zu einem starken Abfall der Hauttemperaturen, die meist erst in der 3. Versuchsstunde konstante Werte erreichten. Bei höheren Aussentemperaturen war dieser Abfall deutlich geringer oder gar nicht vorhanden. Offenbar stellt sich nur in einem sehr engen Temperaturbereich (etwa 29 - 31° C) verhältnismässig rasch ein stationärer Wärmestrom ein. Bei den von uns benutzten Temperaturen im unteren Indifferenzbereich (25° C) ist die Wärmeabgabe dagegen zunächst noch höher als der diesem Klima entsprechende stationäre Wärmestrom. Bei gegebenem Dampfdruck der Luft muss die Verdunstungsgrösse mit sinkender Hauttemperatur abnehmen. Dies ist kein Widerspruch zu dem hauptsächlichen Ergebnis dieser Arbeit. Die Beziehung zwischen Hauttemperatur und Perspiration ist doppeldeutig. Einmal folgt aus der Wärmestromgleichung, dass im stationären Zustand die Hauttemperatur umso höher sein muss, je geringer die Verdunstungsgrösse ist:

$$(4)\quad H = \frac{i.K + a.L - q_v}{a + i}$$

i - innere Wärmedurchgangszahl
ä - äussere Wärmedurchgangszahl
q_v - Verdunstungsgrösse

Auf der anderen Seite ist die Verdunstung proportional der Differenz zwischen Sättigungsdampfdruck bei Hauttemperatur und Dampfdruck der Umgebung, also umso höher, je höher die Hauttemperatur. Die Verdunstungshemmung bei erhöhter Luftfeuchtigkeit kann aber die Hauttempe-

ratur nie so hoch treiben, dass die Verdunstung unabhängig von der Luftfeuchtigkeit wird, da mit steigender Hauttemperatur auch konvektive und radiative Wärmeabgabe zunehmen.

2.) Integrale Hauttemperatur und Frigorigraphen-temperatur bei verschiedener Luftfeuchtigkeit.

Während die JT eine gewisse Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit zeigt (siehe D 2.), ist dies für die Abkühlungsgrösse des Frigorigraphen nicht der Fall. Das ergibt sich aus dem Bauprinzip des Gerätes, da ja kein Feuchtthermometer ist (siehe A). Man muss daher fragen, ob hierdurch die Abschätzung der auf den Organismus einwirkenden Abkühlungsgrösse unter Verwendung des Frigorigraphen bei grösseren Unterschieden der Luftfeuchtigkeit beeinträchtigt wird. Sofern man nur die Korrelation zwischen JT und Frigorigraphentemperatur (FT) in Betracht zieht, ergibt sich aus den Messungen, dass die verhältnismässig geringe Zunahme der JT mit der Luftfeuchtigkeit kaum ins Gewicht fallen dürfte (siehe D 1. und D 2.).

Zur Beurteilungsmöglichkeit eines Klimazustandes in seiner Einwirkung auf den menschlichen Organismus durch die JT und die Frigorigraphenaussage ist folgendes festzustellen:
a) Die interindividuelle Variation der JT und die intraindividuelle Variation in der "thermoregulatorischen Anamnese" des Einzelnen (Bedingungen, die direkt vor Eintritt in das zu beurteilende Klima geherrscht haben) ist sicher höher als die systema-

tische Abhängigkeit der JT von der Luftfeuchtigkeit. Der Umstand, dass der Frigorigraph auf Unterschiede in der Luftfeuchtigkeit nicht anspricht, könnte also für seine Brauchbarkeit bedeutungslos sein, da nach unseren Versuchsergebnissen auch die JT verglichen mit ihrer starken Abhängigkeit von anderen Klimafaktoren (Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur, Strahlung) und den oben genannten Faktoren individueller Art nur in sehr geringem Grade durch Luftfeuchtigkeitsunterschiede beeinflusst wird.

b) Im Unterschied zu der geringen Beeinflussbarkeit der JT durch die Luftfeuchtigkeit haben wir in unseren Versuchen aber erhebliche Unterschiede in den Extremitätentemperaturen festgestellt. Diese zeigen eine deutliche Abhängigkeit der thermoregulatorischen Einstellung von der Luftfeuchtigkeit auch im Indifferenzbereich, die sich an der JT nur wenig sicher und an der FT gar nicht ablesen lässt. Wegen des Ausmasses dieser Unterschiede und wegen der oben besprochenen Sonderstellung der peripheren Abschnitte der Extremitäten als "Effektoren der Wärmeabgabe (Aschoff) muss dieses Ergebnis aber stärker bewertet werden als das Verhalten der JT.

Somit ergibt sich, dass d i e B e u r t e i l u n g e i n e s K l i m a s h i n s i c h t l i c h s e i n e s S c h w ü l e c h a r a k t e r s m i t d e m F r i g o r i g r a p h e n n i c h t m ö g l i c h i s t , während die akralen Hauttemperaturen ein feiner Indikator für die tatsächliche Situation sind.

Diese Einschränkung des Aussagewertes des Frigorigraphen ist an sich eine vor jeder Prüfung feststehende Selbstverständlichkeit. Angesichts der weiten Verbreitung des Gerätes in der Kurortklimatologie erscheint es aber notwendig darauf hinzuweisen, dass auch im indifferenten Temperaturbereich mit thermoregulatorischen Reaktionen zu rechnen ist, die vom Frigorigraphen nicht erfasst werden. In diesem Zusammenhang muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass wir mit Absicht nicht so extreme Feuchteunterschiede untersucht haben wie Thauer und Mitarbeiter, sondern Kombinationen, die auch unter natürlichen Verhältnissen häufiger vorkommen.

F) Zusammenfassung.

In 42 Klimakammerversuchen an 3 Versuchspersonen mit etwa gleichem Habitus und unter angenäherten Grundumsatzbedingungen konnte gezeigt werden, dass mit steigender Luftfeuchtigkeit bei konstanter Lufttemperatur eine Erhöhung der Hauttemperatur eintritt. Im Gegensatz zu Thauer und Mitarbeitern, die zum gleichen Ergebnis gelangten, wurden diese Versuche im mittleren bis unteren Behaglichkeitsbereich durchgeführt. (Der Behaglichkeitsbereich erstreckt sich von 26° C - 31° C Lufttemperatur.) Besonders stark tritt diese Erhöhung der Hauttemperatur an den Akren auf wegen ihres charakteristischen anatomischen Baues, so dass der

Schluss naheliegt, dass sie besonders kennzeichnend sind für das temperaturregulatorische Geschehen des Organismus.

Diese Erhöhung der Temperatur bei steigender Luftfeuchtigkeit tritt nun nicht für die Oberfläche der Kugel des Frigorigraphen nach Pfleiderer und Büttner ein, deren sogenannte Abkühlungsgrösse in den 42 Versuchen mitbestimmt wurde. Dieses Gerät, das in der Beurteilung eines Klimazustandes in seiner Wirkung auf den menschlichen Organismus in der Kurortklimatologie verwendet wird, kann man deshalb für diesen Zweck einer Klimabeurteilung für nur beschränkt tauglich erklären: Die Beurteilung eines Klimazustandes hinsichtlich seines Schwülecharakters ist damit nicht möglich. Dagegen ist die Messung der akralen Hauttemperaturen zur Beurteilung der Einwirkung klimatischer Faktoren auf den Organismus im Behaglichkeitsbereich gut geeignet.

G) Literatur.

1.) ASCHOFF J.:
Klin. Wochenschrift 36, 193 (1958a)

2.) ASCHOFF J. und R. WEVER:
Die Naturwissenschaften 45, 477 (19586)

3.) BENZINGER T.H.:
Anm. of intern. med. 54, 685 (1961)

4.) BUETTNER K.:
J. Appl. Physiol. 6, 229 (1953)

5.) DAUBERT K. und F. AICHENGER:
Wetter - Klima - Haut.
Aus "Dermatologie und Venerologie" herausgegeben von H.A.Gottron und W. Schönfeld (1962).

6.) GAUMITZ E.:
Untersuchungen über die Beziehung der menschlichen Hauttemperatur zu Frigorigraphen - und Frigorimeterwerten. Dissertation Kiel 1960.

7.) HARTMANN und BRAUN (Firma):
Gebrauchsanweisung für den Frigorigraph nach Pfleiderer und Buettner.

8.) HÖFLER W.:
Medizinische Welt 16, 899 (1963).

9.) HÖGGER D.:
Industrielle Arbeit bei grosser Hitze. (Bern 1947)

10.) KAUFMANN W., A. LÜTCKE und R. THAUER:
Die Naturwissenschaften Bd. 42, 590 (1955 a)

11.) KAUFMANN W., R. THAUER und G. ZÖLLNER:
Pflügers Archiv 261, 189 (1955 b)

12.) KOE K. F. und W. HÖFLER:
Pflügers Archiv 278, 93 (1963)

13.) KÖNIG F. H.:
Pflügers Archiv 247, 497 (1944)

14.) LÜTCKE A., F. W. KLUSSMANN und W. KAUFMANN:
Pflügers Archiv 265, 575 (1958)

15.) MEISSNER und WURST (Firma):
Beschreibung und Bedienungsanweisung für die Klimakammer der Firma Meissner und Wurst Stuttgart

16.) MÜLLER E. A. und H. G. WENZEL:
Die Beurteilung des Arbeitsklimas
Handbuch d. ges. Arbeitsphysiologie Bd. I (1961)

17.) ROTH G. M., B. T. HORTON and C. SHEARD:
Amer. J. Physiol. 128, 782 (1940)

18.) THAUER R. und G. ZÖLLNER:
Pflügers Archiv 258, 58 (1953)

19.) THAUER R., G. ZÖLLNER und W. KAUFMANN:
Pflügers Archiv 260, 1 (1954)

20.) WAERDEN B. L. v. d., E. NIEVERGELT:
Tafeln zum Vergleich zweier Stichproben mittels X - Test und Zeichentest (1956)

21.) WIERZEJEWSKI H.:
Die Messprinzipien von Frigorigraph und Frigorimeter und ihre Eignung.
Physikalisch-Metereologisches Observatorium Davos.
(Interner Bericht Nr. 217 (1963)

22.) WINSLOW C. - E. A., L. P. HERRINGTON, A. P. GAGGE:
Amer. J. Physiol. 120, 288 (1937)

23.) YAGLOU:
Transactions of the Am. Soc. of Heating and Ventilating Engineering 29, 163 (1923)

24.) ZÖLLNER G., R. THAUER:
Pflügers Archiv 259, 281 (1954)

25.) ZÖLLNER G., R. THAUER und W. KAUFMANN:
Pflügers Archiv 260, 261 (1955)

Meinen herzlichen Dank an Herrn Dozent Dr. Höfler für die Überlassung des Themas, die vielen Ratgebungen und das grosse Entgegenkommen, sich als Versuchsperson zur Verfügung zu stellen.

Herrn Professor Dr. Fischer danke ich für die Genehmigung zur Benutzung der für die Versuche benötigten Institutsgeräte.

Für die Vermittlung der Arbeit und die Bereitstellung des Frigorigraphen möchte ich mich bei Herrn Dr. Daubert, dem Leiter der medizin - meteorologischen Forschungsstelle der Universität, bedanken.

Besten Dank auch meinen Freunden Albert Keuerleber und Hans Narr, die als Versuchspersonen viele Stunden bewegungslos in der freudlosen Atmosphäre der Klimakammer ausgehalten und damit zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Lebenslauf

Am 12. Juli 1940 wurde ich, Wolfgang Müller, als Sohn des Studienrates Otto Müller und seiner Ehefrau Hilde geb. Griesshaber in Stuttgart geboren.

Im Jahre 1948 zog unsere Familie nach Reutlingen, wo ich nach Beendigung der Grundschule im Jahre 1951 dann in das Friedrich-List- Gymnasium eintrat. An dieser Schule legte ich 1960 das Abitur ab.

Im selben Jahr noch begann ich das Medizinstudium an der Universität Tübingen. Das vorklinische Studium wurde im Oktober 1962 mit der ärztlichen Vorprüfung abgeschlossen. Von den sechs nun folgenden klinischen Semestern verbrachte ich das zweite an der Universität Innsbruck, die übrigen fünf Semester wiederum an der Universität Tübingen. Hier legte ich dann im Januar 1966 das medizinische Staatsexamen ab.